Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 26

Artikel: Optischer Maser für Nachrichtenzwecke

Autor: Maus, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916801

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Optischer Maser für Nachrichtenzwecke

Von *G. Maus*, Neu-Ulm

621.375.029.6 : 535.2 : 621.39

Die erste praktische Verwirklichung einer Erfindung, die das Phänomen einer stimulierten Emission ausnützte, wurde im Jahre 1954 mit der erfolgreichen Entwicklung eines Ammoniak-Masers bekannt. Durch diese Entwicklung kam unter anderem ein Verstärker zustande mit bemerkenswerten niedrigen Rauscheigenschaften. Die Ausweitung dieser Technik auf das optische Gebiet des Spektrums folgte im Jahre 1960 durch *Maiman*, der erstmalig mit einem Rubin-Kristall Schwingungen bei einer Wellenlänge von 6934 Å, d. h. im roten Teil des Spektrums, erzeugte. Die Bedeutung dieser Entwicklung liegt darin, dass sie es ermöglicht, für viele Aufgaben Licht zu verwenden, wo im Augenblick Hochfrequenzwellen bei erheblich niedrigeren Frequenzen verwendet werden. Der optische Maser, oder auch Laser genannt, erzeugt Licht, dessen Frequenz etwa $10^3 ... 10^4$mal höher ist als die bis heute bekannte höchste Radarfrequenz. Diese hohe Frequenz eröffnet die Möglichkeit einer Reihe von interessanten Anwendungen. Besonders erwartete man für die Nachrichtentechnik einen grossen Fortschritt, obwohl auf diesem Gebiet eine Unmenge Entwicklungsarbeit vorauszusehen war. Hier war aber eine Möglichkeit gegeben, zukünftig mit Trägerfreqenzen im sichtbaren oder infraroten Teil des Wellenspektrums zu arbeiten. Nimmt man z. B. eine Trägerfrequenz von 10^{14} Hz an, so könnten 10^{10} Kanäle zu je 10 kHz Breite prinzipiell übertragen werden, d. h. die eine Hälfte der Erdbevölkerung könnte sich mit der anderen Hälfte auf dem gleichen Lichtstrahl unterhalten und es würden noch eine Unmenge von Kanälen ungenützt bleiben.

Ausser der Erweiterung des Übertragungsbereiches kommen noch andere Faktoren hinzu, die den Laser für Nachrichtenzwecke ganz besonders geeignet erscheinen lassen: seine Bündelungsfähigkeit und seine Kohärenz. Um die grosse Informationsmenge optimal ausnützen zu können, müssen aber noch geeignete Modulations- und Demodulationsverfahren entwickelt werden, von denen weiter unten gesprochen werden soll.

Die Verwendung der Laserstrahlen für Richtfunkverbindungen auf der Erde ist durch starke Absorption durch Sauerstoff, Kohlendioxyd und durch die Streuung an Wasserdampf und Staubpartikel sehr begrenzt. Man hatte daher vorgeschlagen und auch experimentell schon durchgeführt, die Nachrichtenübertragung in Rohren mit Schutzgas (Stickstoff) oder Vakuum vorzunehmen. Die Anforderungen an die Rohrtoleranzen sind aber beträchtlich, so dass dieses Verfahren noch nicht so schnell zum Einsatz kommt. Dagegen dürfte aber die Nachrichtenübertragung mittels Laser im interstellaren Raum von ganz besonderer Bedeutung sein.

Bis jetzt ist es noch völlig offen, welche der drei heute existierenden Arten von Laser-Lichtquellen für Nachrichtenzwecke eingesetzt werden können. Beim Festkörper-Laser besteht das verstärkende Medium aus einem Kristall oder Glasstab, der mit einer laser-aktiven Substanz dotiert wird und der das bekannte Phänomen der Fluoreszenz ausnützt. Ein solcher Kristall (mit Chrom dotiertes Aluminium-Oxyd) strahlt rotes Licht ab, wenn er mit grünem Licht bestrahlt wird. Das ist dadurch möglich, dass die eingebauten Chrom-Ionen grünes Licht absorbieren, einen Teil in Wärme und den Rest in rotes Licht umwandeln. Aber ausser dem Rubin gibt es noch eine Reihe anderer fluoreszierender Kristalle, die für den gleichen Zweck benützt werden können. Weiterhin werden auch Edelgase (z. B. Helium oder Neon) oder ihre Gemische als fluoreszierendes Material eingesetzt. Die letzte Entwicklung auf diesem Gebiet, der Dioden- oder Injektions-Laser arbeitet nun nicht mehr nach dem gleichen Prinzip, sondern ist ein ganz neues Bauteil, bei dem durch direkte Einführung von Strom Licht erzeugt wird. Allen drei Prinzipien ist gemeinsam, dass sie einen eng gebündelten Lichtstrahl mit genau definierter Frequenz und zeitlicher Kohärenz erzeugen. Dies ist der wichtigste Unterschied zu den bisher bekannten Lichtquellen, bei denen die Strahlung von den einzelnen Emissionszentren völlig regellos und untereinander unabhängig ausgeht.

Die starke Bündelungsfähigkeit des Lasers hat den Vorteil, dass für Nachrichtenverbindungen die Sendeantenne gegenüber den heute existierenden Antennen stark verkleinert werden kann. Bei einer Hochfrequenz-Richtfunkverbindung liegt der Strahlöffnungswinkel in der Grössenordnung von etwa einem Grad, während sich der Öffnungswinkel bei einem Festkörper-Laser auf 3 Bogenminuten herabdrücken lässt. Bei einem Gas-Laser wird er sogar nur 32 Bogensekunden, was dem theoretischen Grenzwinkel der Beugung sehr nahe kommt. Gegenüber dem Hochfrequenz-Richtfunk ist die Bündelungsfähigkeit des Lasers um den Faktor 10^7 besser. Diese hohe Bündelungsfähigkeit lässt einen Laser für Radarzwecke besonders geeignet erscheinen; entsprechende Versuchsaufbauten und Experimente wurden schon sehr frühzeitig durchgeführt. Aber auch hier spielt die Abschwächung des Strahles durch die Erdatmosphäre eine grosse Rolle, so dass die Anwendbarkeit des Laser-Radars nur für interstellare Bereiche (bei der Satelliten-Ortung) in Frage kommt.

Genau wie bei einem heute üblichen Nachrichtensender muss auch die optische Schwingung eines Lasers moduliert werden. Das ist ein Problem, an dem noch sehr intensiv gearbeitet wird, denn die bisherigen Lösungen sind noch allzu kompliziert. Verschiedene Modulationsmethoden, die das heutige Wissen der Materialeigenschaften ausnützen, sind bekannt. Diese Methoden lassen sich in zwei grundsätzlich verschiedene Kategorien unterteilen: die innere und die äussere Modulation, je nachdem der Emissionsvorgang selbst durch verschiedene Effekte (z. B. Stark- oder Zeemann-Effekt usw.) beeinflusst wird oder die Modulation nach dem Austreten des Strahles aus dem Laser erfolgt.

Bei dem Stark-Effekt wird ein starkes elektrisches Feld angelegt, wodurch die an der Laser-Wirkung beteiligten Energie-Niveaus mehr oder weniger verschoben werden können. Eine Mikrowellen-Modulation des Feldes liefert frequenzmoduliertes kohärentes Licht. Analog zum Stark-Effekt kann auch der Zeemann-Effekt (d. h. Anlegen eines Magnetfeldes) die Frequenz des Lasers beeinflussen. Nach einem etwas älteren Vorschlag soll das Modulationsverfahren mittels Zeemann-Effekt zur Erzeugung eines amplitudenmodulierten Lichtsignals verwendet werden. Dabei werden zwei Laser in Tandem-Schaltung verwendet. Die Strahlung

des ersten Lasers wird zur Anregung des zweiten benützt, der das auszusendende Licht erzeugt. Wird der erste Laser mit Hilfe des Zeemann-Effektes in seiner Frequenz moduliert, so entsteht eine Modulation des Anregungszustandes des zweiten Lasers und damit eine Amplituden-Modulation des Signals. Das Verfahren der inneren Modulation hat aber den Nachteil, dass der Modulationsfrequenz eine obere Grenze von angenähert 10^6 Hz für den Festkörper-Laser und 10^9 Hz für den Gas-Laser gesetzt ist. Soll der Laser jedoch in der Nachrichtentechnik eine praktische Verwendung finden, dann müssen Modulationssysteme zur Verfügung stehen, die eine Frequenz von wenigstens 10^{14} Hz verarbeiten können. Dieses Ziel dürfte nur durch die äussere Modulation zu erreichen sein. Hier gibt es verschiedene Möglichkeiten, je nachdem, ob akustische, magnetische oder elektrische Effekte in verschiedenen Materialien ausgenützt werden. Ein erfolgsversprechendes Beispiel dürfte das der Modulation mit der Kerr-Zelle sein, bei der die Polarisationsrichtung eines hindurchtretenden Lichtstrahles in Abhängigkeit von der elektrischen Feldstärke der Modulationsspannung gedreht wird. Da die handelsüblichen Kerr-Zellen nur bei relativ niedrigen Frequenzen arbeiten (maximal bis 10^8 Hz), wurde daher versucht, den elektro-optischen Effekt mit anderen Mitteln für höhere Modulationsfrequenzen auszunützen. Es werden dazu transparente Kristalle aus Kalium-Dihydrogen-Phosphat (KDP) in einem Hohlraumresonator verwendet. Wird dieser Kristall dem elektrischen Feld eines Hohlraumresonators ausgesetzt, so wird durch die Modulationsfrequenz die Intensität des durch den Kristall hindurchtretenden Lichtes zwischen 0 und 100 % verändert.

Der als Faraday-Effekt bekannte magnetooptische Effekt kann ebenfalls zur Lichtamplitudenmodulation verwendet werden. Zwischen zwei gekreuzten Polarisatoren befindet sich ein geeigneter Einkristall (z. B. Rubin oder Neodym-Äthysulfat). Wird ein Magnetgleichfeld an den Kristall senkrecht zur Strahlenrichtung angelegt, so zeigen die eingelagerten paramagnetischen Ionen eine Eigenresonanz. Wird ein zusätzliches magnetisches Wechselfeld zu dieser Resonanzfrequenz angelegt, so wird dadurch eine Drehung der Polarisationsebene des durch den Kristall hindurchtretenden Lichtes bewirkt. Leider konnte mit den bis heute bekannten paramagnetischen Kristallen nur eine geringe Drehung beobachtet werden. In einem amerikanischen Laboratorium wird versucht, diese Modulations-Methode durch Auswahl geeigneter Kristalle zu verbessern.

Die Lichtmodulation mittels einer Ultraschallwelle ist weniger geeignet, da der Frequenzbereich sehr stark begrenzt ist.

Ein weiteres Modulationsverfahren beruht auf mechanisch-optischen Effekten. Im Strahlengang des zu modulierenden Lichtes befindet sich eine Glasplatte, die zwischen zwei Balken eingespannt ist. Durch säulenförmige Schichten piezo-elektrischer Platten aus Blei-Zirkon-Titanat ist der Balkenabstand gegeben. Die Dickenabmessungen dieser Platten werden durch Anlegen einer Spannung verändert, dadurch wird ein regelbarer Druck auf die Glasplatte ausgelöst, die doppelbrechend werden kann.

Andere Modulationssysteme wurden entwickelt, die aber alle noch nicht den Anforderungen eines Modulationsverfahrens für höchste Frequenzen genügen. Zweifelsohne ist das äussere Modulationsverfahren mit einem elektro-optischen Modulator (KDP-Kristall) bis jetzt am besten geeignet; der Nachteil ist nur der, dass die Modulationsspannung bei relativ schlechtem Wirkungsgrad sehr hoch sein muss.

Bei einem weiteren Verfahren, das bei hohen Frequenzen und grosser Bandbreite anwendbar ist, wird ein Teil der unmodulierten Schwingungsenergie aus dem Laser ausgekoppelt. Durch die Verknüpfung von Auskopplung und Modulation wird das Verfahren «Auskoppelmodulation» genannt. Zwischen dem KDP-Kristall und dem Rubin wird noch ein Polarisationsprisma eingeschaltet, durch das der an der Kittschicht totalreflektierte Strahl ausgekoppelt wird. Vom Auskoppelgrad hängt die Steuerleistung ab, d. h. im Prinzip kann man mit kleiner Steuerleistung bei hohem Wirkungsgrad modulieren.

Um eine Nachrichtenübertragung durch Laser-Strahlen empfangen zu können, müssen, wie bei einer Hochfrequenz-Einrichtung, geeignete Demodulatoren eingesetzt werden. Für diesen Bereich sind verschiedene physikalische Mechanismen und Geräte entwickelt worden, die aber leider nur für gewisse Teile des benützten Wellenspektrums geeignet sind.

Zum Empfang der Laser-Strahlung können die drei in Tabelle I zusammengestellten Detektoren verwendet werden.

Detektoren für Laser-Strahlung

Tabelle I

	Quanten-ausbeute %	Grenz-frequenz	Verstärkung
Photoelektronenvervielfacher	< 10	300 MHz	10^9
Photodiode	50...100	10 GHz	keine
Photo-Laufzeit-Röhre	10	10 GHz	10...100

Bei allen Photo-Detektoren lässt sich leider das thermische Rauschen der Photoschicht nicht vermeiden. Es ist daher diese die grösste Störquelle solcher Empfänger. Bis heute ist ein Photoelektronenvervielfacher die meistgebrauchte Form eines Empfängers. Auf die Photokathode wird der modulierte Lichtstrahl fokussiert und erzeugt einen modulierten Elektronenstrahl, der durch Sekundär-Elektronen-Vervielfachung verstärkt wird. Die Modulation wird am Ausgangswiderstand abgenommen. Der Vervielfacher entspricht dem Kristalldetektor auf dem Hochfrequenzgebiet.

Weitere Demodulatoren sind Mikrowellen-Laufzeit-Röhren mit Photokathode oder Halbleiter-Photodioden. Im ersten Fall fällt der Laser-Strahl auf die Photokathode einer speziell entwickelten Wanderfeldröhre und im zweiten wird hochdotiertes Germanium benötigt. Der Nachteil der Photodiode ist der, dass eine sehr rauscharme Nachverstärkung erforderlich ist, da die Diode selbst nicht verstärkt. Die Photo-Laufzeit-Röhre ist dagegen erheblich günstiger, da sie das Hochfrequenzsignal etwa 100mal verstärkt; leider erfordert ihr Betrieb einen erheblichen Aufwand.

Wie aus den bisherigen Ausführungen geschlossen werden kann, ist bei einer nachrichtentechnischen Anwendung eines Lasers das Wichtigste, geeignete Modulations- und Demodulationsverfahren für den höchsten Frequenzbereich zu entwickeln. Sobald die notwendigen apparativen Voraussetzungen geschaffen worden sind, lassen sich auch zuverlässige

Vergleiche zwischen den konventionellen Nachrichtenübertragungssystemen und den Laser-Systemen ermöglichen.

Literatur

[1] *J. P. Gordon, H. J. Zeiger, C. H. Townes:* The Maser, new type of microwave-amplifier, frequency standard and spectrometer. Phys. Rev. 99 (1955), S. 1264...1274.

[2] *A. L. Schawlow, C. H. Townes:* Infrared and optical masers. Phys. Rev. 112 (1958), S. 1940...1949.

[3] *T. H. Maiman:* Stimulated optical radiation in Ruby. Nature, 187 (1960), S. 493...494.

[4] *C. F. Luck, R. A. Paananen, H. Statz:* Design of a helium-neon gaseous optical maser. Proc. IRE, 49 (1961), S. 1954...1955.

[5] *A. L. Schawlow:* Infrared and optical masers. Solid State Journal, 2 (1961) 6, S. 21...29.

[6] *A. D. Kamal, S. D. Sims:* Proposed technique for modulation of coherent light. Proc. IRE, 49 (1961), S. 1331.

[7] *R. Müller:* Molekularverstärker für optische Frequenzen. Nachrichtentechn. Z., 14 (1961) 12, S. 585...589.

[8] *B. J. McMurtry, S. A. Harris, A. E. Siegman:* Microwave light modulators and demodulators Review of Stanford Electronics Research, 15. Aug. 1961.

Adresse des Autors:

Dr. *Georg Maus,* Telefunken AG, Anlagenwerk, Ulm (Donau) (Deutschland).

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Korrosionsschutz im Meerwasser

620.197.5 : 620.197.6

[Nach *L. J. Nowacki* und *W. K. Boyd:* Metals Protection in the Marine Environment. Battelle Techn. Rev. 13(1964)6, S. 9...14]

Die Ozeane werden von manchen als die letzten Gebiete der Erde betrachtet, die es zu erforschen und nutzbar zu machen gilt. Daher kommt dem Schutz von Metallen gegen die Korrosion durch Meerwasser immer stärkere Bedeutung zu. Unterwasser-Bauteile müssen gegen zweierlei Angriffe geschützt werden: gegen die Metallkorrosion durch den Abbau des Metalls in Gegenwart eines Elektrolyten und gegen den Bewuchs mit lebenden Organismen.

Während die meisten Unterwasser-Bauteile heute durch Anstriche gegen beide Arten von Angriffen geschützt werden, hat es sich in der Praxis bald gezeigt, dass es nicht möglich ist, beide Funktionen durch den gleichen Anstrich zu erreichen. Die Quecksilber- und Kupferverbindungen, welche gegen Lebewesen als Gifte wirken, können nämlich die darunterliegende Metallschicht angreifen und die Korrosion fördern, wenn sie nicht hinreichend davon isoliert sind. Anderseits besteht auch die Möglichkeit, dass durch den galvanischen Effekt die Löslichkeit der giftigen Verbindungen unterdrückt wird, so dass sie unwirksam werden. Die Antikorrosionsschicht muss aber auch aus einem Träger bestehen, welcher durch die basischen Reaktionen, die beim kathodischen Schutz entstehen, weder aufgeweicht, noch unterwandert wird.

Aus allen diesen Gründen bestehen die meisten Schutzanstriche aus Vinylen, Epoxy und Epoxy-Kohlenteerverbindungen. Zinkschichten und zinkhaltige Anstriche haben sich nur in der Spritzzone und in salzhaltiger Atmosphäre bewährt. Unter Wasser werden sie von Kalkablagerungen und kupferhaltigen Anstrichen in ihrer Wirksamkeit behindert. Die giftigen Anstriche gegen Bewuchs müssen sehr viel Giftstoff enthalten, damit sie diesen während längerer Zeit gleichmässig abgeben können. Sie sollen auch genügend Widerstand gegen Erosion aufweisen, um unnötigen Materialverschleiss zu vermeiden. Die Materialabgabe kann auf zwei Arten erfolgen, einmal dadurch, dass der Anstrich selbst, oder dadurch, dass nur der Giftstoff mit dem Pigment in Lösung geht, während die Trägerschicht unlöslich bleibt. Über die relative Eignung und Wirkung der verschiedenen Anstriche bestehen bei den Fachleuten begreiflicherweise unterschiedliche Ansichten.

Der kathodische Schutz von Schiffen wurde bereits 1824 von *Davy* angewendet. Der Prozess beruht darauf, das Korrosionspotential des Metalles mehr elektronegativ zu machen. Dies kann dadurch erfolgen, dass ein stärker elektronegatives Metall wie Zink, Aluminium oder Magnesium in den Kreis in Form von verlorenen Anoden eingeschaltet wird (Fig. 1), oder durch Aufprägen eines Schutzstromes von aussen mittels einer Batterie, wobei der Schutzstrom mindestens so gross sein muss wie der Korrosionsstrom, aber von umgekehrter Polarität (Fig. 2). Wenn die zu schützenden Flächen zusätzlich mit korrosionshemmenden und bewuchshindernden Anstrichen bedeckt sind, so kann der Stromverbrauch stark reduziert werden. Wie bereits erwähnt, müssen die Anstriche alkalifest sein. Der gebräuchlichste kathodische Schutz wird mit verlorenen Anoden erzielt, wobei Zinkanoden eine sehr hohe Stromausbeute aufweisen und dank ihrem niedrigen Potential nur wenig Wasserstoff an der Kathode abscheiden. Pro cm² Oberfläche einer Zinkanode kann eine 300mal grössere Metallfläche geschützt werden. Der Abscheidung von Wasserstoff kam bei den bisher verwendeten Schiffbaustählen keine besondere Bedeutung zu, aber mit der zunehmenden Verwendung von Stählen hoher Festigkeit muss auf die Vermeidung der Versprödung durch Wasserstoff geachtet werden.

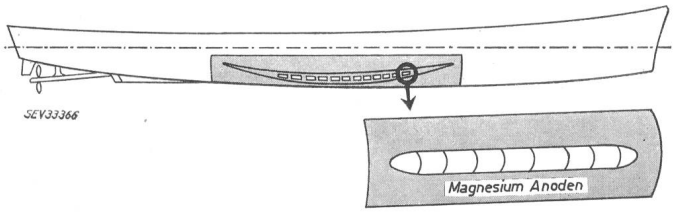

Fig. 1
Verlorene Anoden schützen Schiffshülle
Zum Schutz vor allzugrosser Stromdichte ist die Umgebung der Anoden mit einem starken Vinylanstrich von 0,5 mm bedeckt

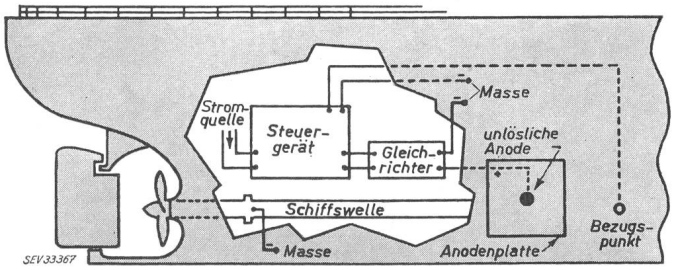

Fig. 2
Aufgeprägter kathodischer Schutz einer Schiffshülle oder einer Gruppe von Schiffen vor Anker

A. Baumgartner

Zukünftige Gestaltung der Dampfkraftwerke

621.311.22

[Nach *K. Schröder:* Das Dampfkraftwerk in der Endphase seiner Entwicklung. Elektrizitätswirtschaft 63(1964)21, S. 721...739]

Das auffälligste Kennzeichen des modernen Dampfkraftwerkes ist die grosse Leistung einer Maschinengruppe. In den letzten 40 Jahren stieg die Leistung eines Turbogeneratorsatzes fast um das 20fache, der thermische Wirkungsgrad auf das doppelte, der spezifische Brennstoffbedarf ist unter die Hälfte gesunken, der spezifische Grundflächenbedarf ging auf ein Dreissigstel zurück, gleichzeitig hat sich auch der Raumbedarf und der gesamte Bauaufwand stark verringert. Heute sind Einwellenturbosätze für 650 MW, Zweiwellenturbosätze für 1000 MW und Kessel für 3000 t/h im Bau. Einheitsleistungen von 1600 MW und Kessel für 5000 t/h bieten keine grundsätzlichen Schwierigkeiten mehr. Turbogeneratoren sind bis 1000 MVA ausführungsreif entwikkelt.

Kraftwerke dieser Grösse sind keine Einzelerscheinungen. Einheiten von 500...1000 MW gewinnen immer mehr an Bedeu-